

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

Studium nanopovlaků

Study of Nanocoatings

Student:

Zuzana Sojáková

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc.

Ostrava 2016

Zadání bakalářské práce

Student: **Zuzana Sojáková**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie
Téma: Studium nanopovlaků
Study of Nanocoatings
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Prostudujte vlastnosti organických povlaků na bázi nátěrových hmot.
2. Prostudujte současný stav vývoje, vlastností a použití nanopovlaků.
3. Navrhněte metodiku experimentálních prací.
4. Proveďte experimentální práce a zpracujte technickou zprávu.

Seznam doporučené odborné literatury:

MOHYLA, M.: *Technologie povrchových úprav kovů*. Učební texty VŠB – TU Ostrava, 2006. 3. vydání. 156 s. ISBN 80-248-1217-7.

BROCK, T., GROTEKLAES, M., MISCHKE, P.: *European Coating Handbook*. Vincentz Verlag, Hannover, Germany, 2000. 410 s. ISBN 3-87870-559-X.

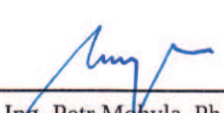
KOLASINSKI, K. W.: *Surface Science. Foundations of Catalysis and Nanoscience*. John Wiley and Sons, LTD, England, 2002. 300 s. ISBN 0-471-49245-0.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc.**


Datum zadání: 11.12.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016



doc. Ing. Petr Mohyla, Ph.D.
vedoucí katedry





doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu

V Ostravě 16.5. 2016

..... Lukáša Sojkačova

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představeních a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o klasifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 16.5.2016

Zuzana Sojáková

Podpis

Jméno a příjmení autora práce: Zuzana Sojáková

Adresa trvalého pobytu autora práce: Bušín 10

789 62 Olšany

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

SOJÁKOVÁ, Z. *Studium nanopovlaků*: bakalářská práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2016, 53 s. Vedoucí práce: doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc.

Bakalářská práce se zabývá studiem nanopovlaků. V teoretické části této práce jsem prostudovala organické povlaky na bázi nátěrových hmot a nanopovlaky. V praktické části byla pomocí různých zkoušek zkoumána přilnavost a odolnost nátěrové hmoty. Předmětem zkoumání byl transparentní lak, který byl nanesen na ocelové vzorky s povrchem upraveným otryskáváním. Nátěr byl nanesen na neočištěný povrch vzorků o podkročené a překročené vrstvě nátěru. Vzorky byly nejprve zkoušeny před nanesením nátěru. Nátěr byl poté nanášen na vzorky pomocí štětce. Po řádném zaschnutí byly vzorky testovány. Experimentální zkoušky jsou zapsány v podkapitolách. Výsledky jsou pak zapsány do tabulek a vyhodnoceny.

BACHELOR THESIS ANNOTATION

SOJÁKOVÁ, Z. *Study of Nanocoatings*: Bachelor Thesis. Ostrava: VŠB – The Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechanical Technology, 2016, 53 pages. Thesis head: doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc.

Bachelor thesis deals with the study of Nanocoatings. The theoretical part of the thesis, I studied organic coatings based coating compositions and nanocoatings. In the practical part using a variety of tests examined traction and durability of coating compositions. The subject of research was the transparent coating compositions, which was applied on steel coupons with the surface modified by blasting. The coating was applied to the unadjusted surface samples falling below and exceeding the layer of coating. Samples were first tested prior to coatings. The coating was then applied to the samples using a brush. After proper drying, the samples were tested. Experimental tests are written in sections. The results are then entered into tables and evaluated.

Obsah:

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ	7
1. ÚVOD.....	8
2. ORGANICKÉ POVLAKY NA BÁZI NÁTĚROVÝCH HMOT	9
2.1 ZÁKLADNÍ SLOŽKY NÁTĚROVÝCH HMOT	9
2.2 OZNAČOVÁNÍ NÁTĚROVÝCH HMOT	12
2.3 NANÁŠENÍ NÁTĚROVÝCH HMOT [2]	14
2.4 SUŠENÍ A VYPALOVÁNÍ NÁTĚRŮ [13].....	16
3. NANOPOVLAKY.....	18
3.1 HISTORIE NANOPOVLAKŮ	18
3.2 PŘÍPRAVA NANOČÁSTIC.....	20
3.3 NANOPOVLAKY	21
3.4 BUDOUCÍ VÝVOJ NANOPOVLAKŮ	24
4. NÁVRH EXPERIMENTÁLNÍCH PRACÍ	25
5. POPIS EXPERIMENTÁLNÍCH PRACÍ.....	26
5.1 HODNOCENÍ POVRCHU VZORKU	26
5.2. STANOVENÍ TLOUŠTKY NÁTĚRU DLE ČSN EN ISO 2808.....	31
5.3. MŘÍŽKOVÁ ZKOUŠKA A KŘÍŽOVÝ ŘEZ	33
5.4. ODTRHOVÁ ZKOUŠKA DLE ČSN EN ISO 16276 – 1	38
5. 5. KOROZNÍ ZKOUŠKA	42
6. FÁZOVÉ ROZHRAŇÍ.....	46
7. TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	48
8. ZÁVĚR	49
9. POUŽITÁ LITERATURA.....	51

Seznam použitých značek a symbolů

ZNAK	VELIČINA	JEDNOTKA
ČSN	Česká státní norma	-
EN	Evropská norma	-
ISO	Mezinárodní norma	-
Ra	Průměrná aritmetická úchylka profilu	[μm]
Rz	Největší výška profilu	[μm]
Rq	Průměr kvadratické úchylky	[μm]
Rp	Výška největšího výstupku profilu	[μm]
Rv	Hloubka největší prohlubně profilu	[μm]
Rsk	Profilová šikmost	-
Rku	Profilová špičatost	-
Rlo	Délka rozvinutého profilu	-
Zp	Nejvyšší bod profilu od středové čáry	[μm]
Zv	Nejnižší bod profilu od středové čáry	[μm]

1. Úvod

Organické hmoty na bázi nátěrových hmot tvoří až 90 % všech povlaků, používaných ve všech průmyslových oborech. Jsou ekonomicky nejvýhodnější. Jejich výhodou je poměrně vysoký ochranný účinek, snadná dostupnost a jejich aplikace není složitá. A proto nejsou zapotřebí komplikovaná zařízení.

Můžeme jimi chránit ocelové výrobky a konstrukce před korozí, a tím prodloužíme jejich životnost. Principem nátěru je zabránit vodě a agresivním složkám proniknout k povrchu chráněného kovu. Nevýhodou je jejich pórovitost, proto antikorozní inhibitory koroze odstraňují agresivní složky, které prochází nátěrem k povrchu kovu. Tak zpomalí anebo úplně zastaví korozi.

V současné době je trend vývoje zabudovat do nátěrových hmot složky v nanorozměrech, které silně ovlivňují kvalitu povlaku. Umožňují nanášení nátěrového systému o menších tloušťkách. Podle vlastností použitých nanočástic, ovlivňujeme i vlastnosti nátěru. Podle toho můžeme zvýšit korozní odolnost, dodat povlaku samočistící vlastnosti nebo vlastnosti hydrofobní a další.

2. Organické povlaky na bázi nátěrových hmot

Tyto hmoty mají poměrně vysoký ochranný účinek, jsou snadno dostupné a jejich aplikace nevyžaduje složitá ani komplikovaná zařízení. Nejsou omezené tvarem a ani složitostí výrobku. Přispívají k tomu, že organické nátěrové hmoty jsou nejrozšířenější a ekonomicky nejvýhodnější ve všech průmyslových oborech, kde tvoří 80 až 90% všech povlaků. [13]

Můžeme jimi chránit ocelové výrobky a konstrukce před korozi a tím prodloužit jejich životnost. Nátěr zabrání vodě a agresivním složkám proniknout k povrchu chráněného kovu. Nejsou však bezpórovité, proto antikorozní pigmenty a inhibitory koroze odstraňují agresivní složky, které prochází nátěrem k povrchu kovu. Tak zpomalí nebo úplně zastaví korozi. [1]

Nátěrové hmoty vytváří nátěry. Nátěr je souvislý povlak, požadovaných vlastností, tvořený z jedné nebo více vrstev zaschlé nátěrové hmoty na povrchu předmětu. Podle vlastností nátěru rozeznáváme tyto druhy [1]:

- ochranný
- dekorativní
- signální
- maskovací
- speciální

2.1 Základní složky nátěrových hmot

Nátěrovou hmotou je každý výrobek, který se používá k vytváření nátěrů. Tyto látky různých druhů jsou organické. Nanášejí se v tekutém nebo těstovinovém stavu a na předmětu vytváří film požadovaných vlastností. [1]

Dělení nátěrových hmot[1]:

- transparentní – nátěrový film je průhledný. Laky nebo fermeže.
- pigmentové – film tvoří neprůhlednou vrstvu, nazýváme email, tmel, barva, ...

Složení nátěrových hmot [2] [3]:

a) *filmotvorné složky* (pojiva) jsou netěkavé látky, které mají schopnost vytvořit tenký souvislý film a vázat disperbované částice pigmentu a plniv v zaschlém filmu. Pojiva se od sebe rozlišují chemickým složením a fyzikálními vlastnostmi. Požadovaných vlastností nátěru dosáhneme kombinací různých filmotvorných látek.

Filmotvorné látky jsou:

- vysychavé oleje (lněný, konopný, ...),
- přírodní živice (kalafuna, šelak, ...),
- umělé živice (rezoly, silikony, ...),
- deriváty celulózy,
- deriváty kaučuku (chlorkaučuk, cyklokaučuk),
- asfalty.

b) *těkavé složky* (rozpouštědla) lze použít k rozpouštění filmotvorných látek (pojiv) při výrobě nátěrových hmot a k úpravě jejich viskozity v procesu aplikace. Nejběžnější rozpouštědla:

- benzíny (lakový, ...),
- benzen a jeho homology,
- alkoholy (metanol, etanol, ...),
- ketony (aceton, metyletylketanol, ...),
- estery kyseliny octové (metylacetát, etylacetát, ...)
- glykolétery,
- terpentýnové silice.

c) *pigmenty* jsou organické nebo anorganické malé částičky rozptýleny v pojivu. Dodávají nátěrům barvu, schopnost krytí, tvrdost. Lze je rozdělit do tří skupin:

- inhibitorové pigmenty (hlavně základní nátěrové hmoty),
- neutrální pigmenty (zlepšení vrchních nátěrů),
- stimulující pigmenty (vrchní ochranné nátěry).

d) *plnidla* jsou minerální látky jemně rozemleté, nerozpustné v pojivech. Upravují technologické vlastnosti nátěrů. Např. zabraňují smršknutí filmu po zaschnutí.

e) *aditiva* jsou přísady obsahující vysychavé oleje.

Požadavky na vlastnosti nátěrových hmot a jejich aplikaci jsou velmi různé, proto je jejich dnešní nabídka velmi široká. Můžeme je rozdělit na [2]:

1. podle filmotvorných složek

- A – asfaltové
- B – polyesterové
- C – celulózové
- H – chlorkaučukové
- K – silikonové
- L – lihové
- O – olejové
- S – syntetické
- U – polyuretanové
- V – emulzní – vodové

2. podle obsahu pigmentu

- pigmentové
- transparentní

3. podle způsobu nanášení

- stříkací
- nanášené štětcem
- nanášené stěrkou
- nanášené elektroforézou
- nanášené máčením a poléváním

4. podle zasychání

- fyzikálně rozpouštějící (odpařování rozpouštědel)
- fyzikálně chemicky zasychající (důsledkem odpaření jsou chemické reakce)

5. podle teploty zasychání

- 20°C – schnoucí na vzduchu
- nad 100°C - vypalovací

6. podle klimatické odolnosti

- vnitřní
- venkovní

7. podle pořadí nátěrových vrstev

- napouštěcí
- základní
- podkladové
- vrchní

2.2 Označování nátěrových hmot

Nátěrové hmoty se značí podle pojiv velkým písmenem, za kterým píšeme čtyřmístné číslo a stručný slovní název. První číslice udává druh nátěrové hmoty. Barevné odstíny se značí podle normy ČSN 67 3067. Tato norma udává další čtyři čísla, kde první číslo označuje barevný tón. Ty další pak určují odstín. [13]

Dnes už toto značení moc nepoužívá, jelikož každý výrobce má svůj vlastní styl značení.

Tab. č. 1. – Skupinové označení nátěrové hmoty [13]

Skupinové označení nátěrové hmoty		
A – asfaltové	K – silikonové	U – polyuretanové
B – bezrozpuštědlové	L – lihové	V – vodové a emulzní
C – celulózové	O – olejové	P – pomocné přípravky
H - chlórkaučukové	S - syntetické	

Tab. č. 2. – druh nátěrové hmoty [13]

Druh nátěru	
1000 – fermeže, transparentní látky	5000 – tmely
2000 – pigmentové barvy a emaily	6000 – ředidla
3000 – pasty	7000 – sušidla, tužidla, katalyzátory
4000 – nástřikové hmoty	8000 – pomocné přípravky

Tab. č. 3. – Barevné odstíny dle ČSN 67 3067 [13]

Barevné odstíny dle ČSN 67 3067		
1000 – 1999 šedé	4000 – 4999 modré	7000 -7999 oranžové
2000 – 2999 hnědé	5000 – 5999 zelené	8000 – 8999 červené
3000 – 3999 fialové	6000 – 6999 žluté	9000 – 9999 ostatní

2.3 Nanášení nátěrových hmot [2]

Zvolená technologie nanášení nátěrů nám ovlivňuje jakost a trvanlivost nátěru. Proto, při výběru technologie nanášení nátěru, musíme přihlížet k vlastnostem nátěrové hmoty i k vlastnostem předmětu, který chceme natřít. Pak musíme přihlížet i k dalším faktorům, které nám nátěr při nanášení ovlivňují. U výběru technologií nanášení přihlížíme k těmto faktorům:

- velikost, tvar a množství zvolených předmětů
 - požadované vlastnosti nátěrů
 - zaměření na požadovanou kvalitu nátěru
 - vlastnosti použitých nátěrových hmot
 - složitost a ekonomie technologií nanášení
-
- Nanášení štětcem – jeden z nejstarších způsobů nanášení. Kvalita nátěru nezáleží jen na kvalitě štětce ale i na zručnosti a svědomitosti natěračů. Štětce sice rozdělujeme podle druhů, nejvíce však záleží na délce jejich štětín. Štětce s kratšími štětínami používáme k nanášení hustších nátěrových hmot, naopak delší štětiny jsou vhodnější na nanášení řidších nátěrů. Výhodou této technologie je dokonalé rozetření nátěrové hmoty a její minimální ztráty. Nevýhodou pak pracnost nanášení. [2]
 - Nanášení navalováním – používá se na rovinné plochy. Výhodou je úplná mechanizace a automatizace, dále pak nízká ztráta nátěrových hmot. Nátěr je nanášen třemi válci ze speciální gumy. Tloušťka nátěru se udává vzdáleností nanášecího válce od upravované plochy. [2]
 - Nanášení namáčením – těleso se namočí do nádrže s nátěrovou hmotou a poté se rovnoměrnou rychlostí vytáhne. Přebytková hmota odteče zpět do nádrže a zbylá hmota vytvoří nátěr. Tloušťka nátěru závisí na viskozitě nátěrové hmoty a na rychlosti vytahování tělesa. Díky jednoduchosti této technologie se využívá u hromadné výroby. [2]

- Nanášení poléváním – je obdobou namáčení. Tento způsob nanášení je výhodný hlavně u velmi rozlehlých těles, které se nátěrovou hmotou polévá. Nevýhodou je vznik stékanců a kapek na hranách. Nanášení je uskutečňováno dýzami nebo clonou, kdy jsou výrobky zavěšeny na dopravník procházející tunelem. Zde jsou výrobky rovnoměrně osprchovány nátěrovou hmotou. [2]

- Pneumatické stříkání – dnes nejpoužívanější způsob nanášení. Ideální pro dnešní rychleschnoucí nátěrové hmoty. Vhodné pro velké plochy. Nátěr se nanáší pomocí pneumatické pistole ve stříkací kabině, která má omezit rozstřík nátěrové hmoty. Kabiny rozdělujeme do tří druhů:
 - Stolové – pro nanášení nátěru na malé předměty.
 - Podlahové – pro větší předměty, jež se musí navážet.
 - Tunelové – pro nástřik větších předmětů.

- Nanášení v el. poli vysokého napětí - principem nanášení je pohyb elektricky nabitých částic nátěrové hmoty k opačně polarizovanému povrchu předmětu. Zde se usazují a vytváří vrstvu nátěru. Zdrojem nabíjení je koronový výboj, který se vyznačuje malou proudovou hustotou. Nanáší se dvěma způsoby: stříkáním a odstředivým rozprašováním.

- Další možnosti nanášení jsou Stříkání ohřátých nátěrových hmot, Nanášení nátěrových hmot vysokotlakým stříkáním, Nanášení nátěrových hmot pomocí elektronických sil [2]

2.4 Sušení a vypalování nátěrů [13]

Sušením a vypalováním získá nátěr požadované vlastnosti, jako je například tvrdost, odolnost, atd. Během zasychání vzniká řada chemických a fyzikálních procesů, které můžeme rozdělovat do čtyř fází:

- Vypaření
- Zasychání do stavu, kdy je možné s předmětem manipulovat. Nátěr se nelepí.
- Zasychání do stavu tvrdosti, těleso se může používat.
- Stárnutí nátěru

U nátěrů, kde probíhají pouze fyzikální procesy, se nemění složení plnidel (filmotvorných látek), neboť nejsou schopné chemických procesů. Nátěr tak vzniká pouze odpařováním rozpouštědel. Použijeme-li rozpouštědlo na zaschlý nátěr, znovu se rozpustí. Jsou to například nátěry nitrocelulózové, chlórkaučukové, lihové, asfaltové, atd.

U nátěrů zasychajících za působení chemických procesů se nejprve odpařují ředidla a rozpouštědla. Což způsobuje tuhnutí nátěrového filmu. Po odpaření rozpouštědel přichází další fáze zasychání, ve které dochází k chemickým reakcím. Zde záleží na složení nátěrové hmoty. Podle složení může vznikat: oxidace, polymerace, polykondenzace, polyadice, atd. Chemických reakcí může probíhat i více současně. Tyto nátěrové hmoty jsou díky chemické reakci nerozpustné v organických rozpouštědlech, neboť se složení chemickou reakcí změní.

Jelikož mohou chemické reakce probíhat za normální teploty nebo za teplot vyšších, rozdělujeme schnutí na:

- Zasychání při normální teplotě ($20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$) na vzduchu
- Přisoušení při $40 - 60^{\circ}\text{C}$
- Vypalování při $80 - 250^{\circ}\text{C}$

Pro zkrácení doby schnutí se mohou nátěry, u kterých to povaha schnutí dovolí, urychlovat vyššími teplotami. Například nátěry schnoucí za normálních teplot se mohou přisoušet. Vypalování se používá u nátěrů, jež obsahují teplem tvrditelné pryskyřice. Při

prísoušení a vypalování se musí dát pozor, aby hlavní podíl rozpouštědel a ředidel vytěkal při normální nebo zvýšené teplotě. Při nedodržení může docházet k tvoření vad na nátěrech.

Sušení a vypalování lze provádět těmito způsoby:

- ohřátým vzduchem,
- infračerveným zářením,
- indukci,
- ultrafialovým zářením,
- elektronovými zářiči.

3. Nanopovlaky

Vývoj nanotechnologií nám pomáhá pochopit některé jevy, které byly dosud pro člověka nevysvětlitelné. Některé z těchto jevů se objevují u vlastností povrchů rostlin. Například dopadne-li kapka vody na list lotosu, nejenže list vodu nenasaje, ale při ztékání kapky se list navíc očistí. Povrch je totiž hydrofobní a to minimalizuje znečištění. Díky těmto zjištěním můžeme tyto vlastnosti přenášet na povrchy našich produktů a nadále je zlepšovat. Těmto předmětům pak pomocí nanovrstev můžeme dodat následující vlastnosti: [4]

- jednoduché čištění a samočištění
- odolnost proti poškrábání a odírání (mechanická i chemická odolnost)
- ochrana proti korozi (vytvoření ochranného filmu)
- impregnace – odpuzují kapaliny (vody i oleje)
- ochrana proti otiskům prstů (omezuje vznik otisků na lesklých plochách)
- odolnost proti chemikáliím do pH 13 (proti znečištění solemi a barvicími látkami)
- odolnost proti bakteriím a plísním (zabraňuje vznik bakterií a plísní)
- ochrana proti stárnutí [5]

3.1 Historie nanopovlaků

První zmínky o nanopovlacích se objevují již z pátého nebo čtvrtého století před n. l. z Egypta a Číny. Asi ze 4. století našeho letopočtu jsou dochovány tzv. Lykurgovy poháry (viz obrázek č. 1). Poháry byly vyrobeny v období Římské říše. Zajímavostí těchto pohárů je jejich barva. Zelený pohár (viz obrázek č. 1. vlevo) je pozorován v denním světle. Bude-li však zdroj světla umístěn uvnitř poháru jeho barva bude červená. (viz obrázek č. 1. vpravo) Chemickou analýzou bylo zjištěno, že se sklo podobá sklům moderním. Navíc však obsahuje malé množství zlata a stříbra. Kovy ve skle mají velikost nanokrystalů o rozměru přibližně 70 nm. [6]



obr. č. 1 – Lykurgový pohár při různém dopadu světla [6]

V roce 1559 – americký fyzik a nositel Nobelovy ceny za fyziku Richard Philips Feynman na své přednášce *There's Plenty of Room at the Bottom*, zmínil možnost manipulace s atomy a molekulami. V této době se tento obor nazýval mikrotechnologie.

V roce 1974 – japonský fyzik Tuniguchi přišel s novou měřicí metodou umožňující výrobu součástí s přesností na nanometry. Zde se už setkáváme s termínem nanotechnologie.

V 70. letech – americký fyzik K. E. Drexler publikoval článek, ve kterém navazuje na myšlenky fyzika Tuniguchiho. Článek pojednává o využití proteinů jako základním stavebním kameni v molekulárním inženýrství. Zde také upozornil na pozitiva a negativa molekulární nanotechnologie.

V druhé polovině 20. století se výzkumy orientují na poznání vlastností základních stavebních prvků hmoty a na jevy probíhající na atomové a molekulární úrovni. Zájem byl hlavně o rozmanité struktury vytvořené přírodou.

V 80. letech patří k nejvýznamnějším objevům rastrovací tunelový mikroskop SPM a mikroskop atomárních sil AFM pro pozorování a manipulaci s atomy a molekulami. Pokrok šel stále dopředu, až se zrodil nový interdisciplinární obor – nanotechnologie. [7]

3.2 Příprava nanočástic

Jelikož mohou být nanočástice připraveny různými metodami, které ovlivňují jejich velikost, tvar a vlastnosti (fyzikální, chemické), musíme nejprve uvážit, kde budou nanočástice dále aplikovány. [8] Mezi nejpoužívanější typy patří [8]:

- nanočástice kovů, např. zlato a stříbro,
- nanočástice oxidů,
- nanočástice sulfidů,
- nanočástice selenidů,
- polymerní nanočástice.

K výrobě se používají převážně dvě metody [6]:

- fyzikální metoda (mechanické dělení agregátu kovu)
- chemická metoda (nukleace a růst zárodku)

Fyzikální metoda

Částice vyrobené touto metodou jsou větší než 10 nm a proto výroba touto metodou není příliš žádoucí. Způsobem výroby je mechanické mletí materiálu. Materiál je rozemlet na co nejmenší částice, tyto částčky jsou dále rozdrceny na menší zrna vlivem srážek. [9]

Příklady příprav nanočástic [3]:

- ultrazvukové brokování
- těžká plastická deformace
- vysokoenergetické mletí kulovým mlýnem
- kondenzace v neutrálním plynu

Chemická metoda

Je to nejpoužívanější metoda pro výrobu nanočástic. Princip spočívá v postupném vzniku a růstu kovových jader. Při vhodných podmínkách můžeme vytvořit nanočástice požadovaných velikostí a tvarů. [3]

Příklady chemických metod [3]:

- redukce v plynné fázi – metoda spočívá v přenesení částic v plynné fázi do vody, kde se na jejich povrchu vytvoří oxidační skořápka, poté se částice suší a dále se mohou modifikovat. Jde vlastně o redukci vodíkem.
- řízené chemické spolusrážení - přidáváním srážedel do roztoku je zajištěno chemické kontrolované srážení. Nanočástice se pak dovytvářejí stárnutím, praním, sušením, filtrací.
- elektrochemická metoda – touto metodou můžeme vytvořit nanočástice požadovaných velikostí a tvarů, přitom dochází k oxidaci iontů kovů. Potom dojde k jejich reprodukci a nakonec stabilizované částice agregují kolem kovových jader, po čemž se nanočástice vysráží.
- chemická kondenzace par – kondenzování částic v řízené atmosféře
- sprejování tekutým plamenem
- redukce v kapalně fázi

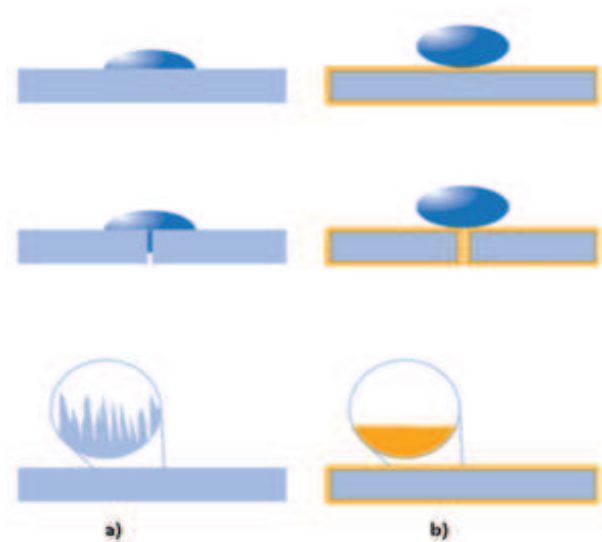
3.3 Nanopovlaky

V nanonátěrech jsou obsaženy částice anorganického křemíku, které jsou k sobě vázány organickými polymery. Nanonátěry zvyšují svou tvrdost a ořezuvzdornost díky velmi hustě propojeným částicím křemíku. Nejenže chrání povrch proti běžným ničivým mechanickým vlivům, ale jsou schopny ochránit velmi dobře povrch proti korozi, vodní páře a chemikáliím. Dalšími užitečnými vlastnostmi je například jejich samočistící schopnost. To je schopnost, kdy za přítomnosti vnějších vlivů, například slunečního záření, dokáží rozkládat nečistoty ulpělé na povrchu. Mohou mít dokonce schopnost sami sebe opravovat. [10]

Nanopovlaky v automobilovém průmyslu

Nanonátěry a nanopovlaky jsou díky svým schopnostem a vlastnostem velmi využívány. Nacházejí velké uplatnění v automobilovém průmyslu, jako nová generace nátěrových hmot. Jsou to převážně laky na karoserie. Je to nejen díky jejich zlepšení odolnosti proti poškrábání, zvýšení odolnosti proti UV záření, zlepšení ořezuvzdornosti, atd. Funkční vlastnosti nejsou závisle jen na vnější vrstvě tvořící rozhraní, ale i na oblasti směřující pod povrch. Nanopovlaky nám neplní jen funkce obvyklé ochrany, ale otvírají

cestu k vytvoření snadno čistitelných produktů. Tyto materiály se nejenže dokáží za určitých podmínek regenerovat či se sami opravit, ale dokáží popřípadě opravit i jinou látku. U čirých laků – nanolaků se využívá schopnost uzavření miniaturních otvorů nazývaná jako lotosový efekt. Výhodou je, že jsou méně náročné na údržbu. Na obrázku č. 2. vidíme příklad působení kapky vody na povrch ošetřený a) 5 mm částicemi a b) 1 nm nanočásticemi. [11]



obr. č. 2. – působení kapky vody na povrch ošetřený a) 5 mm částicemi a b) 1 nm nanočásticemi [11]

Nanopovlaky v leteckém průmyslu

Zde nacházejí nanopovlaky další uplatnění, kde zvyšují životnost, spolehlivost, odolnost proti korozi, skluz a otěr abraze a také zlepšují povrchovou kvalitu. Vedou ke korozní odolnosti vrstev proti důlkové korozi, oxidaci, exfoliaci, též proti teplotní korozi nebo jako teplotní bariéry pro dopravní prostředky nebo letadla rychlostních převodovek. [11]

Nyní vznikají ve vývoji pro letecký průmysl vícefunkční nanovrstvy, používané i pro kosmický prostor. Cílem je ochránit proti korozi a mechanickému porušení plášť letadla použitím zdravotně nezávadných materiálů. [11]

Své využití mají nanonátěry díky svým hydrofobním vlastnostem v oblasti optiky nebo všeobecné aplikaci na skleněný povrch. Aplikací nanopovlaku s částicemi oxidu

křemičitého na povrch skla nedochází ke kondenzaci vodní páry, povrch se neroší. S tím se setkáme i v automobilovém průmyslu, který to využívá k ochraně předních skel. Voda se pak při kontaktu s nanopovlakem shlukuje do velkých kapek a odtéká. [10]

Fotokatalycké nátěry

V roce 2013, na pravidelné tiskové konferenci, zástupci nanotechnologické společnosti Advanced Materials – JTJ s.r.o. představily funkční fotokatalycké nátěry. Jsou-li tyto nátěry nanoseny na jakoukoli budovu, z vnější ale i vnitřní části obalu fasády, vytvoří se její prioritní funkce. Její funkcí je čistit vzduch od jedovatých plynů a alergenů. Funkce celé metody závisí na dopadu slunečního záření na povrch povlaku, jež pomocí speciálně vytvořených pojiv a nanočástic oxidu titaničitého aktivuje fotokatalycký proces. [12]

Další vlastností nátěrů je vyčištění okolního vzduchu a zanechání čisté fasády domů. Pouze jediný metr upraveného povrchu budovy dokáže přechistit za rok až tři miliony kubických metrů vzduchu. [12]

3.4 Budoucí vývoj nanopovlaků

V budoucnu můžeme počítat s tím, že se s nanotechnologií budeme setkávat denně, při běžných činnostech. Mezi odborníky se však často zmiňuje, jsou-li nanočástice nebo nanomateriály zdravotně nezávadné. Jaký budou mít částice vliv na lidský organismus v budoucnu, nejsme zatím schopni říct, jelikož je vývoj této technologie teprve na začátku. Díky své malé velikosti, mají schopnost se tyto částice dostat do krevního oběhu a usazovat se na plicích, dokonce i v mozku, což by nemuselo zrovna lidskému organismu prospívat. Přestože mají nanomateriály a nanočástice výborné vlastnosti, musíme brát ohled i na možnost ovlivnění lidského organismu jejich působením. [3]

Na dosud prováděných experimentálních zkouškách bylo ověřeno, že přidáváním částic menších jak 100 nm do nátěrů, se jeví jako efektivní a to nejen pro zvýšení tvrdosti ale i pro zlepšení bariérových vlastností. Správné použití částic (tvar, velikost, povrchová úprava) a dokonalé rozmíchání v pojivu je podmínkou pro správnou funkci nátěru. Nanoprášky kovu, SiO_2 , TiO_2 , oxidy hliníku, zirkonu a zinku, sulfáty barviv pomáhají zlepšovat jejich vlastnosti. Zinkové antikorozi pigmenty ve formě fosforečnanu zinečnatého, oxidu zinečnatého a jiné jeho modifikace dodávané do nátěrů, nahrazují chrom a olovo. [3]

4. Návrh experimentálních prací

Úkolem experimentální práce bylo zjistit kvalitu transparentního laku, byl-li nenesen v podkročené a překročené vrstvě na neočištěný povrch.

Úprava povrchu před aplikací nátěru:

- otryskáváním

Hodnocení povrchu před aplikací nátěru:

- prašnost povrchu dle ČSN ISO 8502-3
- drsnost povrchu vzorku dle ISO 8503
- (drsnoměr Mitutoyo Surftest SJ-301 – dle ČSN EN ISO 4287)

Aplikace nátěru:

- štětcem

Zkoušky hodnocení nátěrů:

- stanovení tloušťky nátěru suché vrstvy dle ČSN EN ISO 2808
- mřížková zkouška dle ČSN EN ISO 16276-2
- křížový řez dle ČSN EN ISO 16276-2
- odtrhová zkouška dle ČSN EN ISO 16276-1
- studium fázového rozhraní
- korozní zkouška v solné mlze dle ČSN ISO 9227

5. Popis experimentálních prací

Na experimentální práci bylo použito 6 otryskaných ocelových plechů o rozměrech 150 x 100 x 3 mm. Jejich drsnost byla změřena pomocí drsnoměru a následně jsme určily prašnost povrchu. Poté byla na testovaný materiál nanесena vrstva zkoumaného nanolaku za použití štětce. Na tři vzorky byla nanесena slabší vrstva, než je stanoveno, a na další tři zase širší vrstva než je stanoveno. Po zaschnutí byla na dvou vzorcích zkoumána přilnavost nátěrového systému těmito zkouškami: mřížkovou zkouškou, zkouškou křížového řezu a odtrhovou zkouškou. Čtyři vzorky byly umístěny do korozní komory, kde se vystavily agresivnímu prostředí.

Vzorky s podkročenou vrstvou nátěru byly označeny jak 1-, 2-, 3- a s vrstvou překročenou 4+, 5+, 6+.

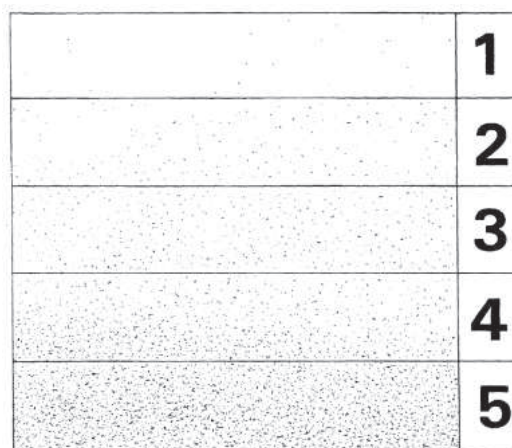
5.1 Hodnocení povrchu vzorků

Prašnost povrchu vzorků dle normy ČSN ISO 8502-3

Tato zkouška byla provedena pro zjištění prašnosti povrchu vzorku, ještě před aplikací nátěrové hmoty.

Prašnost se zjišťovala pomocí snímatelné samolepící pásky dle ČSN ISO 8502-3 [14]. Na každý vzorek byly nalepeny dva pruhy této pásky a lehce přitlačeny. Pak se páska opatrně sejmula a nalepila na čistý, bílý papír, který nechal vyniknout zachycený prach. Z toho se provedlo vyhodnocení nečistot usazených na samolepící pásce.

Vyhodnocení se provádí vizuálně s odpovídající předlohou hodnocení množství prašnosti (obrázek č. 3.) a velikost prachových částic (tab. č. 4.)



Obr. č. 3. – Obrazová stupnice odpovídající množství prachu dle ČSN ISO 8502-3 [14]

Tab. č. 4. – třídy velikosti prachových částic ČSN ISO 8502-3 [14]

Třída	Popis prachových částic
0	částice neviditelné při zvětšení 10x
1	částice viditelné při zvětšení 10x, ale ne prostým okem (obvykle částice menší než 50 μm v průměru)
2	částice viditelné již pouhým okem (obvykle částice mezi 50 μm a 100 μm v průměru)
3	částice jasně viditelné prostým okem (částice od 0,5 mm v průměru)
4	částice mezi 0,5 a 2,5 mm v průměru
5	Částice větší než 2,5 mm v průměru

Vyhodnocení

Podle normy ČSN ISO 8502 – 3 bylo zjištěno, že na podkladovém materiálu je průměrné množství prachových částic 4. Což podle tabulky (tab. č. 4.) odpovídá částicím o průměru 0,5 a 2,5 mm. Z toho vyplývá, že podkladový materiál je poměrně hodně znečištěný.

Drsnost povrchu vzorku měřená dle normy ČSN ISO 4287

Drsnost povrchu vzorku se zjišťuje před nanesením nátěru. Drsnost se měřila pomocí drsnoměru Mitutoyo Surftest SJ – 301 (viz. obr. 4) dle ČSN ISO 4287. Tímto přístrojem

můžeme hodnotit povrchové struktury s různými parametry podle různých národních i mezinárodních norem.

Přístroj měří strukturu vzorku dotykovou metodou pomocí diamantového hrotu, který byl při měření velmi citlivý na dotek a otřesy. Naměřené hodnoty se zobrazily na displeji, byly zpracovány a zapsány do tabulky (tab. č. 5 a 6). Kde se pak vypočítaly průměrné hodnoty a rozptyl Ra a Rz.



obr. č. 4. – Mitutoyo Surftest SJ – 301

Přístroj byl nastaven na:

$$\lambda_c = 2,5 \text{ mm}, l = 12,5 \text{ mm}$$

Měření probíhalo dle normy ISO 1997

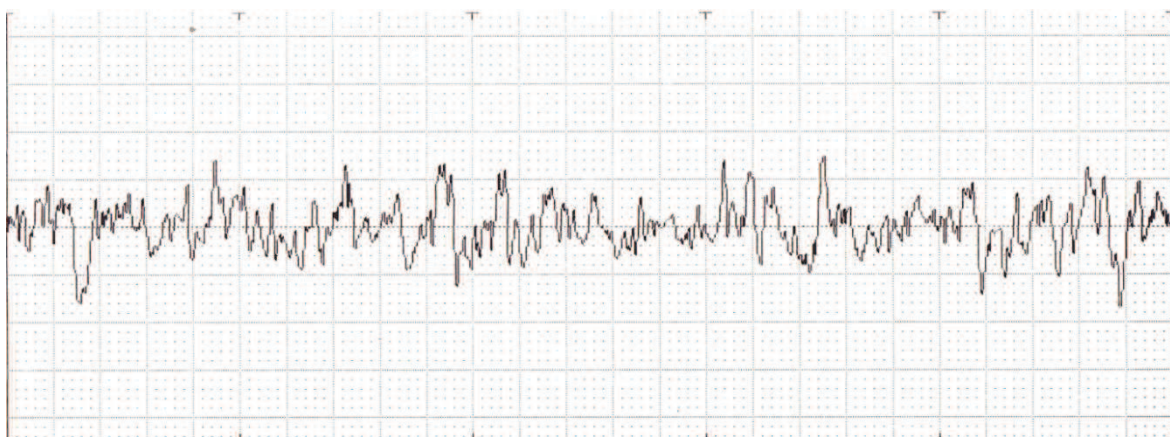
l – měřená délka úseku

λ_c – profil filtru, jenž definuje rozhraní mezi složkami vlnitosti a drsnosti

Naměřené hodnoty:

Tab. č. 5. – hodnoty z měření drsnosti vzorku

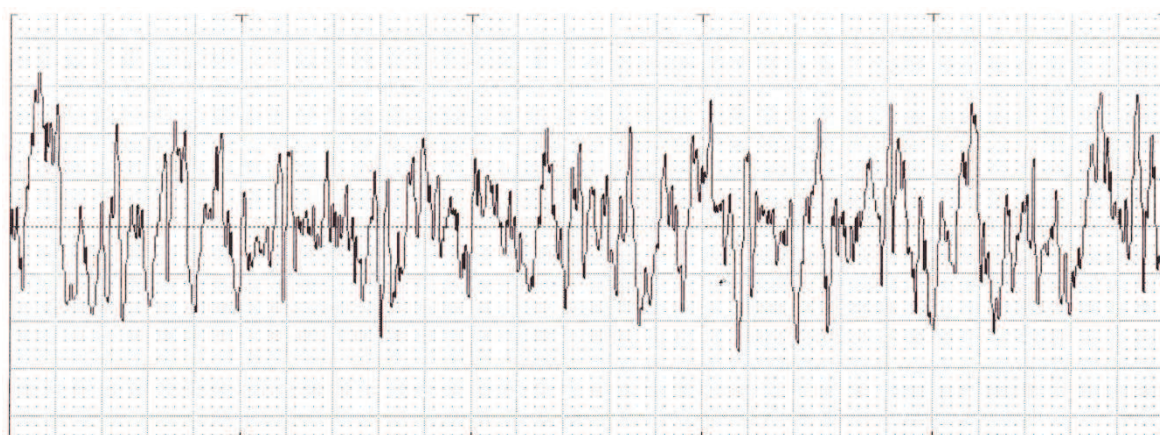
Vzorek:	Otryskaný vzorek - svisle							
Parametry:	$\lambda_c = 2,5 \text{ mm}$, $l = 12,5 \text{ mm}$							
Měření	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rp [μm]	Rv [μm]	Rsk [-]	Rku [-]	Rlo [-]
1	9,63	65,17	12,36	33,20	31,97	0,05	3,36	2,736
2	10,30	68,50	13,23	36,14	32,35	-0,04	3,29	2,712
3	8,87	64,04	11,64	31,39	32,65	0,13	3,40	2,730
4	9,39	67,59	12,18	33,88	32,72	0,06	3,48	2,722
5	9,78	60,13	12,30	31,35	28,77	0,01	2,96	2,702
6	9,57	59,94	11,82	31,21	28,74	0,14	2,81	2,692
7	9,95	67,41	12,48	33,01	34,40	-0,12	3,02	2,719
8	9,20	54,17	11,40	27,13	27,05	-0,04	2,64	2,712
9	10,57	64,55	13,18	30,32	34,23	-0,12	2,66	2,735
10	9,62	63,14	12,09	29,98	33,16	-0,13	2,96	2,740
MIN	8,87	54,17	11,40	27,13	27,05	-0,13	2,64	2,692
MAX	10,57	68,50	13,23	36,14	34,40	0,14	3,48	2,740
Ø	9,688	63,464	12,268	31,761	31,604	-0,006	3,058	2,72



Obr. č. 5. – profil drsnosti vzorku – svisle

Tab. č. 6. – hodnoty z měření drsnosti vzorku

Vzorek:	Otryskaný vzorek - podélně							
Parametry:	$\lambda_c = 2,5 \text{ mm}$, $l = 12,5 \text{ mm}$							
Měření	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rp [μm]	Rv [μm]	Rsk [-]	Rku [-]	Rlo [mm]
1	8,41	48,45	10,43	25,74	22,71	0,19	2,63	2,694
2	9,14	56,12	11,27	26,67	29,45	-0,24	2,92	2,705
3	8,17	54,13	10,33	27,74	26,39	-0,03	3,04	2,721
4	9,19	61,52	11,55	34,05	27,48	0,15	3,16	2,700
5	9,41	64,60	12,21	31,82	32,78	-0,01	3,58	2,740
6	9,01	58,61	11,45	27,51	31,10	-0,19	3,06	2,706
7	8,95	57,36	11,17	29,75	27,61	0,00	2,74	2,713
8	9,60	64,55	12,24	34,03	30,52	0,17	3,17	2,706
9	10,53	72,46	13,50	32,72	39,74	-0,17	3,21	2,740
10	9,07	58,17	11,30	28,56	29,61	-0,14	3,03	2,711
MIN	8,17	48,45	10,33	25,74	22,71	-0,24	2,63	2,694
MAX	10,53	72,46	13,50	34,05	39,74	0,19	3,58	2,740
Ø	9,148	59,597	11,545	29,859	29,739	-0,027	3,054	2,7136



obr. č. 6. – profil drsnosti vzorku – podélně

5.2. Stanovení tloušťky nátěru dle ČSN EN ISO 2808

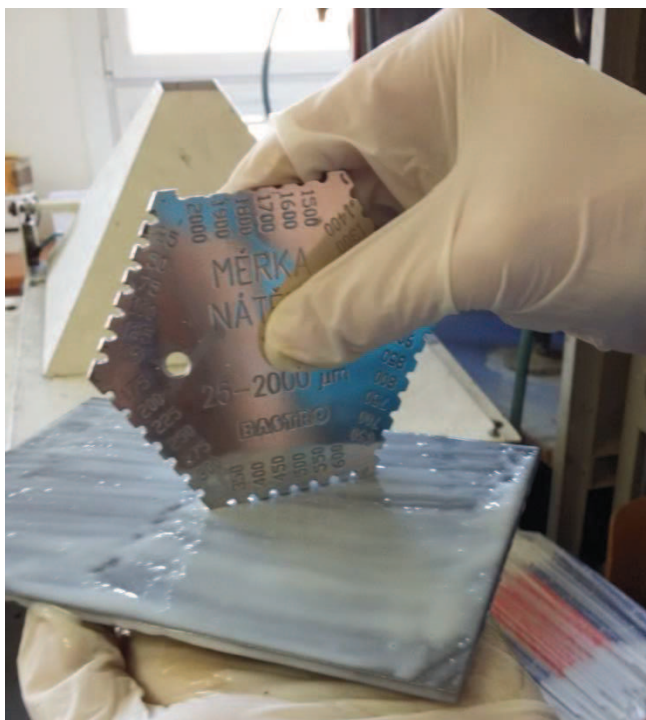
Stanovení tloušťky mokrého nátěru

Normální tloušťka nátěru za mokra je 150 – 200 μm . Předmětem zkoumání bylo nanesení na tři vzorky vrstvu nátěru o tloušťce 100 μm , na okrajích v rozmezí 100 až 125 μm . Dále nazýváme jako podkročení. Na další tři vzorky jsme nanesly vrstvu laku o tloušťce 500 μm , označováno jako předkročení. K měření bylo použito měřícího hřebene neboli měrka nátěru.

Měřící hřeben je vyroben z ploché desky korozně odolného materiálu, jenž má kolem svého okraje zuby (obr. č. 7) vzestupně zvětšujících se velikostí. Po přiložení (viz. obr. č. 8) a následném oddělení hřebene nám zbyly otisky po ponořených zubech, které určily tloušťku nátěru. [15]



Obr. č. 7 – Měrka nátěru



Obr. č. 8 – přiložení měrky k nátěru

Stanovení tloušťky suchého nátěru

Tato měření byla provedena po vytvrzení nátěrové hmoty na vzduchu. Každý vzorek se změřil 10x. Pro stanovení tloušťky suchého nátěru jsme použily digitální tloušťkoměr Elcometer 456 (obr. č. 9) o rozsahu 0 – 1500 μm podle ČSN EN ISO 2808. [15] Naměřené hodnoty jsme zpracovaly do tabulky (tab. č. 7) a vypočítaly průměrnou tloušťku a určily minimální a maximální hodnotu suché vrstvy.



Obr. č. 9 – tloušťkoměr Elcometer 456

Tab. č. 7. – tloušťka suché vrstvy nátěrové hmoty

Měření	Vzorek					
	1 – [μm]	2 – [μm]	3 – [μm]	4 + [μm]	5 + [μm]	6 + [μm]
1	31,6	20,5	13,1	142	97,1	112
2	32,3	21,2	24,7	161	152	121
3	22,2	19,6	31,5	118	204	135
4	38,4	14,6	16,0	201	175	110
5	40,7	15,7	22,9	231	155	117
6	32,7	23,0	17,5	240	129	88,7
7	31,2	21,9	11,7	195	144	91,2
8	38,0	29,3	19,5	137	101	104
9	38,6	24,8	17,9	90,0	124	72,6
10	43,9	33,3	19,4	93,8	231	95,2
MIN	22,2	14,6	11,7	90,0	97,1	72,6
MAX	43,9	33,3	31,5	240	204	135
Ø	34,96	22,39	19,42	160,88	151,21	104,67

Legenda tabulky:

Podkročení – 1-, 2-, 3-

Překročení – 4+, 5+, 6+

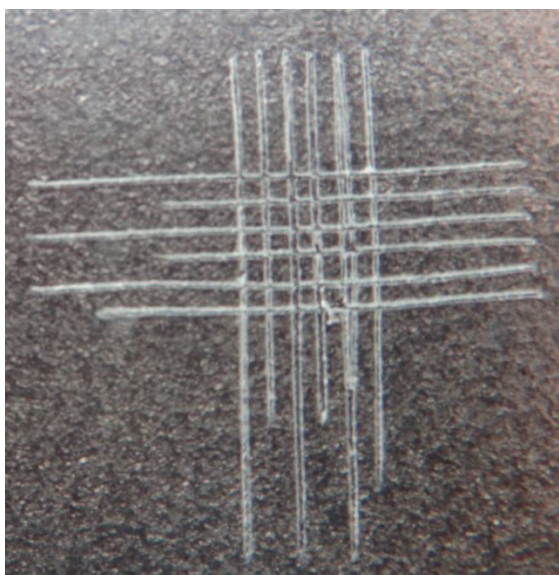
5.3. Mřížková zkouška a křížový řez

Mřížková zkouška dle ČSN EN ISO 16276-2

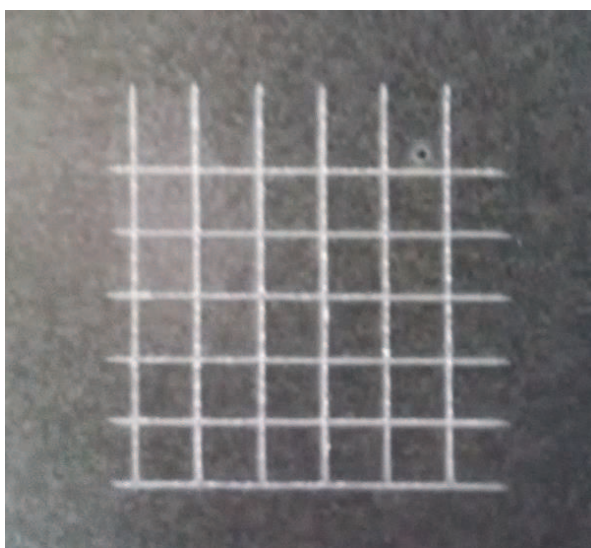
Mřížková zkouška byla provedena na dvou vzorcích. Jeden s podkročenou vrstvou nátěru 1- a druhý s překročenou vrstvou nátěru 4+. Zkouška se provádí pomocí vodivé šablony (viz. obr. č. 12) a ostrého nože. Mřížka se skládá z šesti řezů v každém směru. Vzdálenost řezů se stanovila dle normy ČSN EN ISO 16276-2.

Vzdálenost řezů je závislá na tloušťce povlaku a typu podkladu. Pro první vzorek s podkročenou vrstvou nátěru do 60 μm byla dána vzdálenost řezů 1 mm, pro tvrdé podklady (např. kov). Pro druhý vzorek s překročenou vrstvou, 121 μm až 250 μm platí vzdálenost řezů 3 mm, pro tvrdé a měkké podklady. [16]

Následně byla na mřížku nalepena samolepící páska, která se zlehka přitlačila. Poté se opatrně sejmula a nalepila na čistý podkladový papír. Poté se vyhodnotily výsledky vizuálně podle tabulky č. 8.


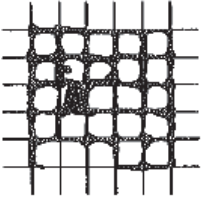
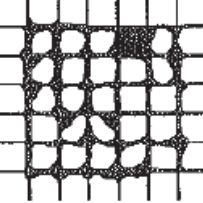
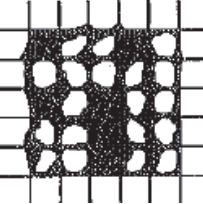


Obr. č. 10 – vzorek 1- s mřížkou na podkročené vrstvě nátěru



Obr. č. 11 – vzorek 4+ s mřížkou na překročené vrstvě nátěru

Tab. č. 8 – klasifikace výsledků zkoušky [16]

Klasifikace	Popis	Vzhled povrchu plochy s mřížkovým řezem, na které se vyskytlo odlupování
0	Hrany řezů zcela hladké, žádný čtverec mřížky není poškozen	-
1	Malé kousky povlaku odloupnuty v místech křížení řezů. Poškození je menší než 5%	
2	Povlak se odlupuje podél řezů a/nebo v místech křížení řezů. Poškozená plocha je větší než 5%, ale menší než 15%	
3	Povlak se odlepuje podél řezů ve velkých pásech zcela nebo částečně i na různých místech čtverců. Plocha poškození je větší než 15% ale menší než 35%.	
4	Povlak se odlupuje podél řezů ve velkých pásech zcela, odlupují se z části nebo zcela některé čtverce. Plocha poškození je větší než 35% a menší než 65%.	
5	Jakýkoliv stupeň odlupování, který nemůže být klasifikován ani stupněm 4	-

Vyhodnocení mřížové zkoušky:

1. Podkročená vrstva nátěru (obr. č. 10) – klasifikace č. 0
2. Překročená vrstva nátěru (obr. č. 11) – kvalifikace č. 0



Křížový řez dle normy ČSN EN ISO 16276-2





Tato zkouška není omezena tloušťkou nátěru. Křížový řez se prováděl pomocí šablony (obr. č. 12) a ostrého nože. Řez měl tvar „X“ a byl dlouhý 40 mm. Oba řezy svíraly úhel v rozmezí 30° až 45°. Poté se přilepila samolepící páska, která se zlehka přitlačila a pak opatrně odlepila. Páska se nalepila na bílý podkladový papír. Vyhodnocení se provedlo vizuálně pomocí obrázku tabulky č. 9. [17]



Obr. č. 12 – Šablona pro mřížkovou zkoušku a křížový řez

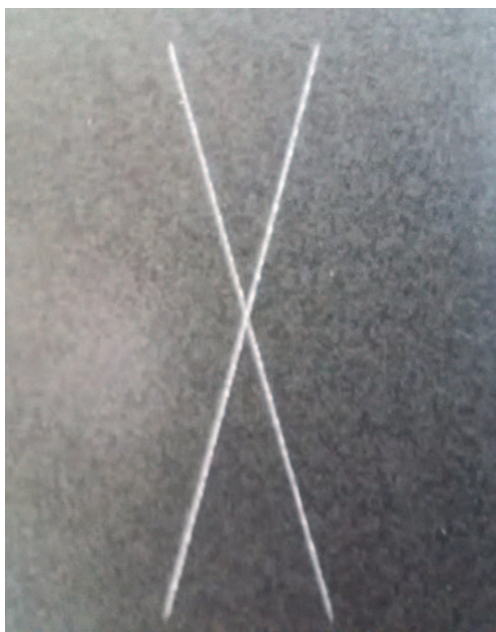
Tab. č. 9 – stupně hodnocení křížového řezu [17]

Stupeň 0	Stupeň 1
	
Žádné odlupování nebo odpadávající nátěr.	Velmi malé odlupování podél řezů nebo v jejich průsečíku.

<p>Stupeň 2</p>  <p>Roztřepené odlupy podél řezů, v rozsahu maximálně 1,5 mm na každé straně.</p>	<p>Stupeň 3</p>  <p>Roztřepené odlupy podél téměř celé délky řezů, v rozsahu maximálně 3,0 mm na obou stranách.</p>
<p>Stupeň 4</p>  <p>Odpadávající nátěr z většiny plochy křížového řezu pod lepicí páskou.</p>	<p>Stupeň 5</p>  <p>Odpadávající nátěr v ploše mimo křížový řez.</p>



Obr. č. 13 – vzorek 1- s podkročenou tloušťkou nátěru



Obr. č. 14 – vzorek 4+ s překročenou tloušťkou nátěru

Vyhodnocení křížové zkoušky

1. Řez v podkročené tloušťce nátěru (obr. č. 13) – 0
2. Řez v překročené tloušťce nátěru (obr. č. 14) – 0

5.4. Odtrhová zkouška dle ČSN EN ISO 16276 – 1

Odtrhová zkouška je destruktivní metoda. Provádí se pomocí zkušebních tělísek, které nazýváme také jako panenky. Jsou různých tvarů a velikostí, vyrobené z korozivzdorné oceli nebo hliníkové slitiny. Obvykle se používají panenky o průměru 20 mm a dostatečné tloušťky, aby nedošlo k jejich deformování. [18]

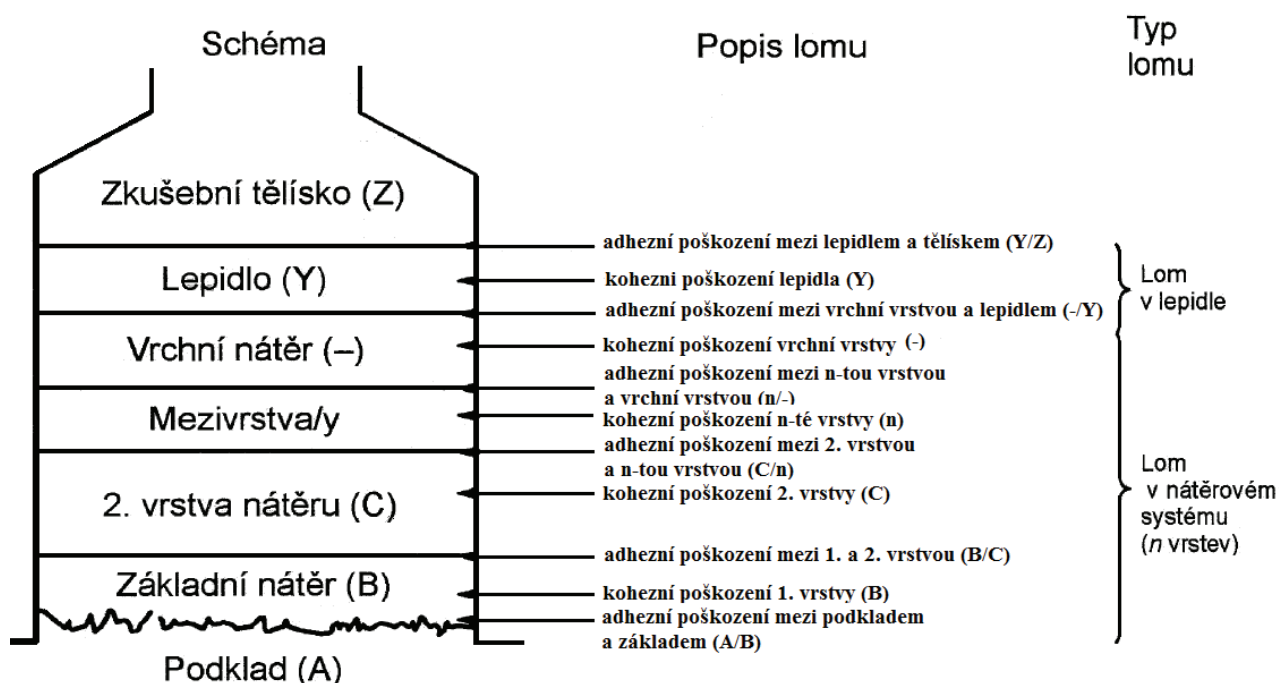
Zkouška se pak provádí přilepením panenek vhodným lepidlem, např. dvousložkové epoxidové nebo jednosložkové kyanoakrylátové. Povrch se musí nejprve zdrsnit. Nesmí se používat lepidla, které mohou nátěr poškodit nebo jím mohou pronikat. [18]

Po řádném zaschnutí lepidla se kruhovým ořezávacím nástrojem odstraní lepidlo a nátěr kolem panenky. Ořezávací nástroj nesmí mít větší vnitřní průměr jak zkušební tělísko. Průměr může být větší nanejvýš o 2 mm. [18]

Na jednovrstvý nátěr jsme použily dvousložkové lepidlo pro přilepení panenek na zdrsněný povrch. Povrch jsme nechaly schnout 24 hodin. K odtrhové zkoušce jsme pak použily odtrhoměr – Elcometer F106 (obr. č. 15), pro rozsah od 0 do 7,0 MPa. Vyhodnocení se pak provádí podle obrázku č. 16 – *Popis charakteru poškození* a tabulky č. 10 – *Vyhodnocení výsledků*.



Obr. č. 15 – odtrhoměr Elcometer F106



Obr. č. 16 – *Popis charakteru poškození* [18]

Tab. č. 10 – Vyhodnocení výsledku

A	kohezní poškození podkladu
A/B	adhezní poškození mezi podkladem a první vrstvou (základem)
B	kohezní poškození první vrstvy
B/C	adhezní poškození mezi první a druhou vrstvou
C	kohezní poškození druhé vrstvy
C/m	adhezní poškození mezi druhou vrstvou a m-tou vrstvou vícevrstvého systému
m	kohezní poškození m-té vrstvy vícevrstvého systému
m/n	adhezní poškození m-tou vrstvou a n-tou vrstvou vícevrstvého systému
n/-	adhezní poškození mezi n-tou vrstvou a vrchní vrstvou vícevrstvého systému
-	kohezní poškození vrchní vrstvy
-/Y	adhezní poškození mezi vrchní vrstvou a lepidlem
Y	kohezní poškození lepidla
Y/Z	adhezní poškození mezi lepidlem a zkušebním tělískem

Vyhodnocení výsledků:

1. Vzorek s podkročenou vrstvou nátěru 1 -

A. Odtrh č. 1:

$X = 3,5 \text{ MPa}$

70% A/B

30% Y/Z



Obr. č. 17 – podkročená vrstva nátěru – 1. odtrh

B. Odtrh č. 2:

X = 5 MPa

60% A/B

40% -/Y



Obr. č. 18 – podkročená vrstva nátěru – 2. odtrh

2. Vzorek s překročenou vrstvou nátěru 4 +

A. Odtrh č. 1:

X = 3 MPa

90% A/B

10% Y/Z



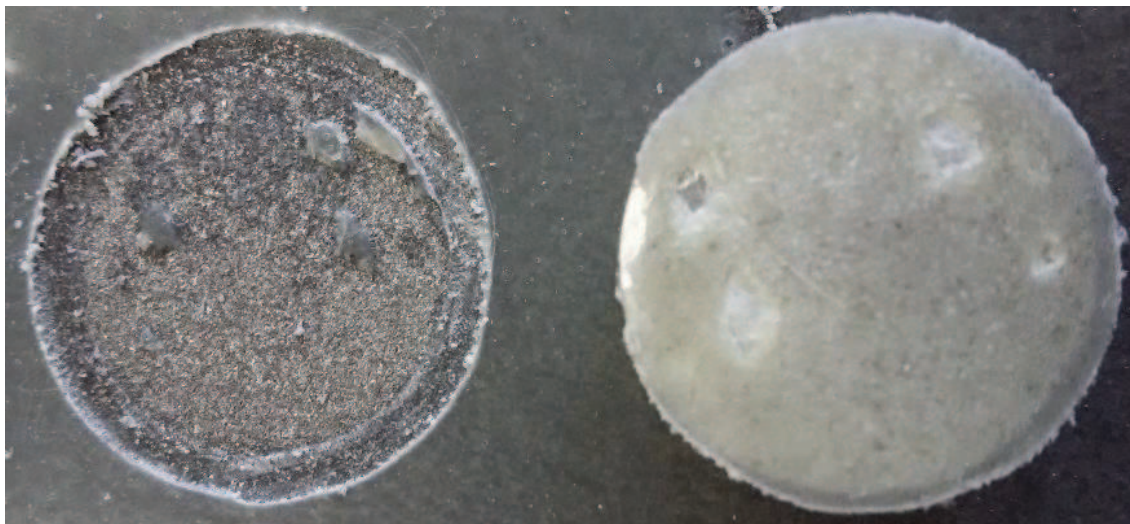
Obr. č. 19 – překročná vrstva nátěru – 1. odtrh

B. Odtrh č. 2:

X = 2 MPa

87% A/B

13% Y/Z



Obr. č. 20 – překročená vrstva nátěru – 2. odtrh

5. 5. Korozní zkouška

Zkouška v solné mlze dle ČSN EN ISO 9227

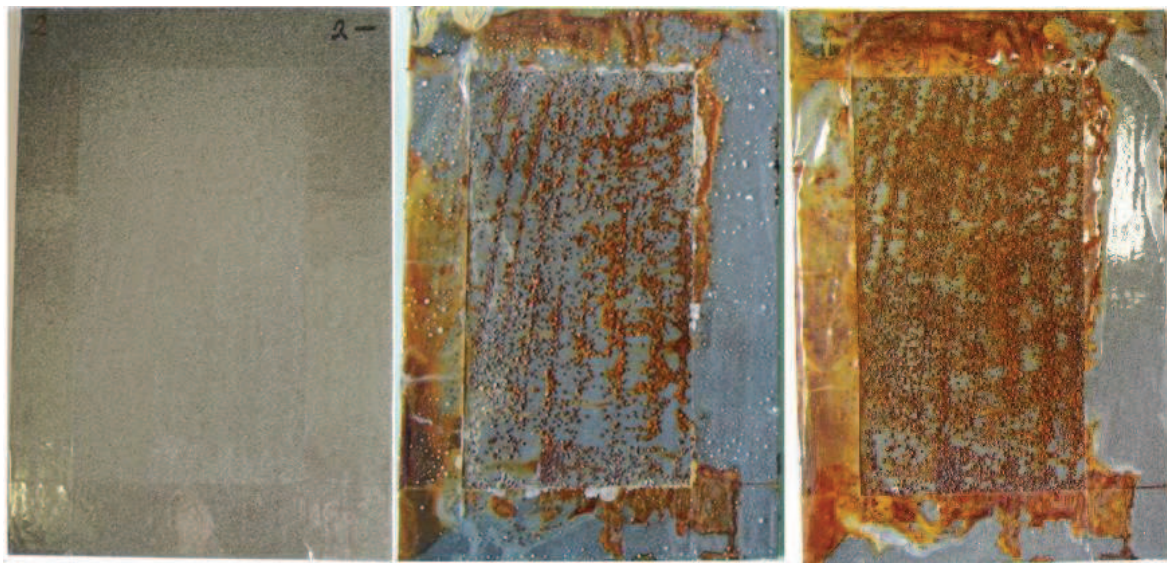
Korozní zkouška v solné komoře nám simuluje průběh atmosférické koroze během několika hodin či dnů. Tato zkouška je nejpoužívanější a nejmodernější metoda hodnocení v korozní odolnosti. Postup u zkoušky byl dodržován dle normy ČSN EN ISO 9227.

Do solné korozní komory byly vloženy čtyři vzorky, které jsme před vložením označily a oblepily lepící páskou. Oblepeny byly jejich okraje a zadní strana vzorků, abychom zabránili nechtěné korozi na okrajích vzorků, kde má tendenci se vyskytovat. Dva vzorky, byly opatřeny řezem. Takto přichystané vzorky jsme vložily do korozní komory. Zde byly po dobu 76 a 168 hodin vystaveny zvýšené teplotě v solné mlze. Po daném čase se vzorky vytáhly a opláchly tekoucí vodou. Poté se 24 hodin sušily.

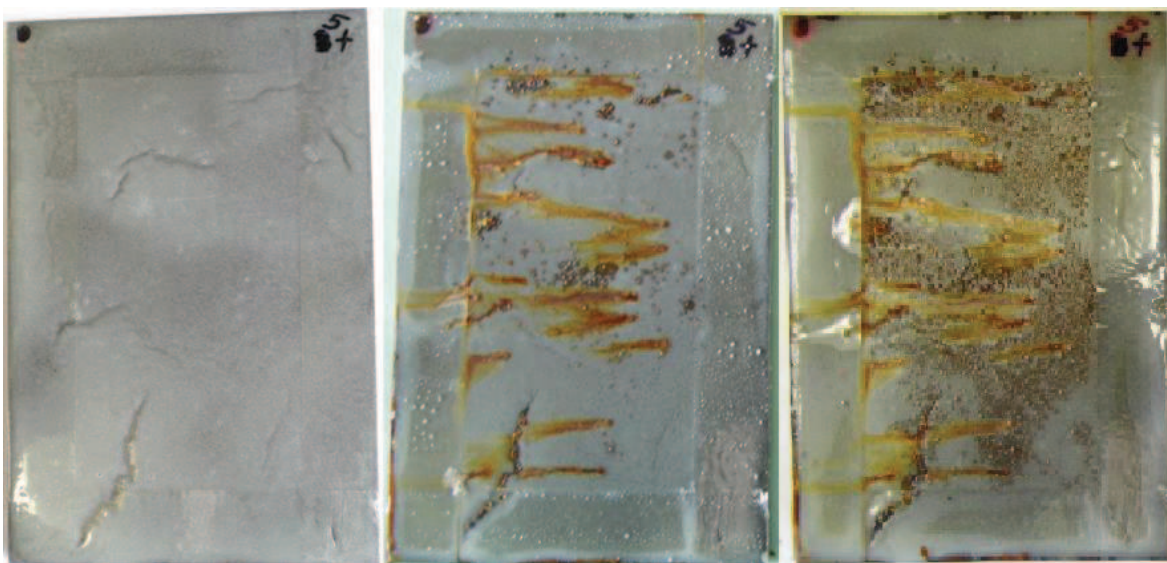
Hodnocení puchýřkování povrchu dle ČSN EN ISO 4628 – 2

Hodnocení puchýřkování se provádí vizuálně, vzorky porovnáváme s obrázkovými standardy. Vyhodnocení puchýřkování je zapsáno v tabulce č. 11 – *Vyhodnocení puchýřkování*.

Porovnání vzorků před vložením a po vytažení z korozní komory:



Obr. č. 21 – A- vzorek 2- před vložením do korozní komory, B – po 76 hod., C – po 168 hod.



Obr. č. 22 – A – vzorek 5+ před vložením do korozní komory, B – po 76 hod., C – po 168 hod.

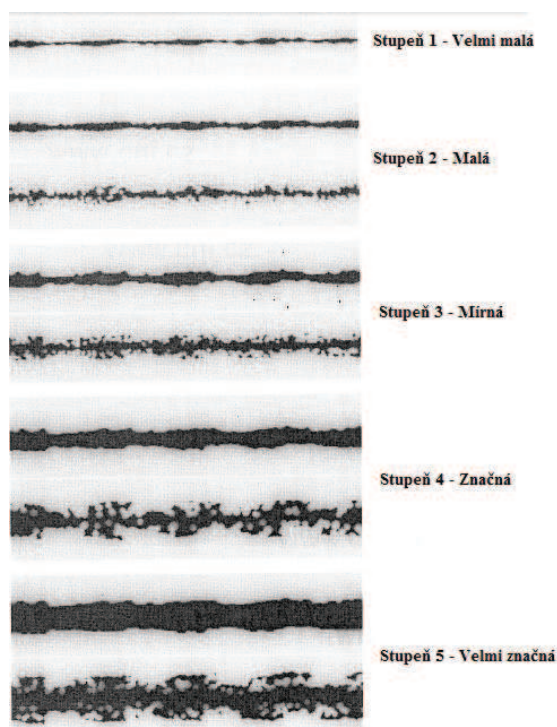
Tab. č. 11 – Vyhodnocení puchýřkování

Vzorek	Před vložením do korozní komory	Po 76 hodinách	Po 168 hodinách
2 -	0 S(0)	4 S(2)	5 S(4)
5 +	0 S(0)	3 S(3)	4 S(3)

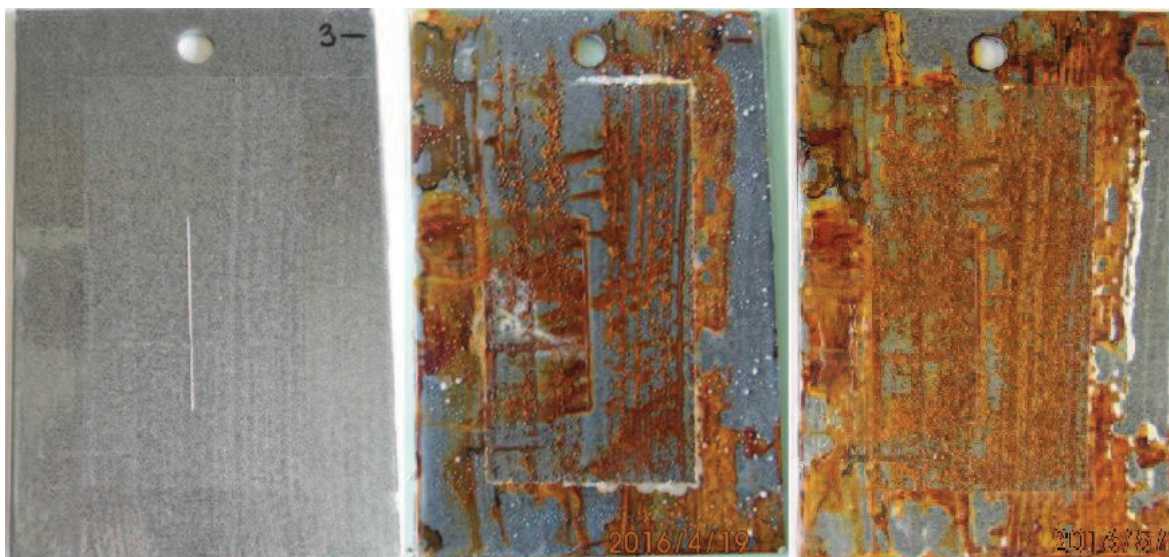
Hodnocení degradace nátěrů dle ČSN EN ISO 4628 – 8 (delaminace a koroze v okolí řezu)

Norma popisuje degradaci nátěru v korozní komoře na vzorcích s řezem. Vyhodnocení této zkoušky se provádí vizuálně, podle obrázkových příkladů dle normy 4628 – 8 (obr. č. 23), anebo výpočtem.

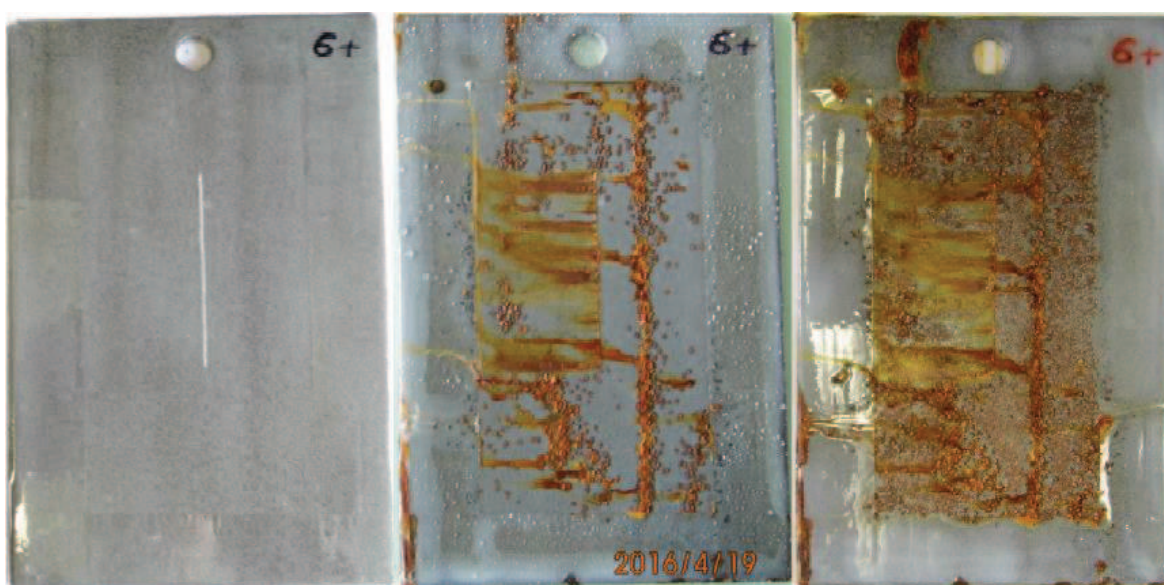
Před vložením do korozní komory se na každém vzorku provedl řez ostrým nožem. Svislý řez, o délce cca 7 cm, byl vytvořen uprostřed vzorku až na základní materiál. V korozní komoře byly vzorky po dobu 76 hodin. Poté byly vytaženy a opláchnuty. Vyhodnocení výsledků je zapsáno do tabulky č. 12. Na obrázcích č. 24 a č. 25 jsou ukázány vzorky před a po vytažení z korozní komory.



Obr. č. 23 – Obrazové standardy pro hodnocení stupně delaminace a koroze podél řezu



Obr. č. 24 – A – vzorek 3- před vložením do korozní komory, B – po 76 hod., C – po 168 hod.



Obr. č. 25 – A – vzorek 6+ před vložením do korozní komory, B – po 76 hod., C – po 168 hod.

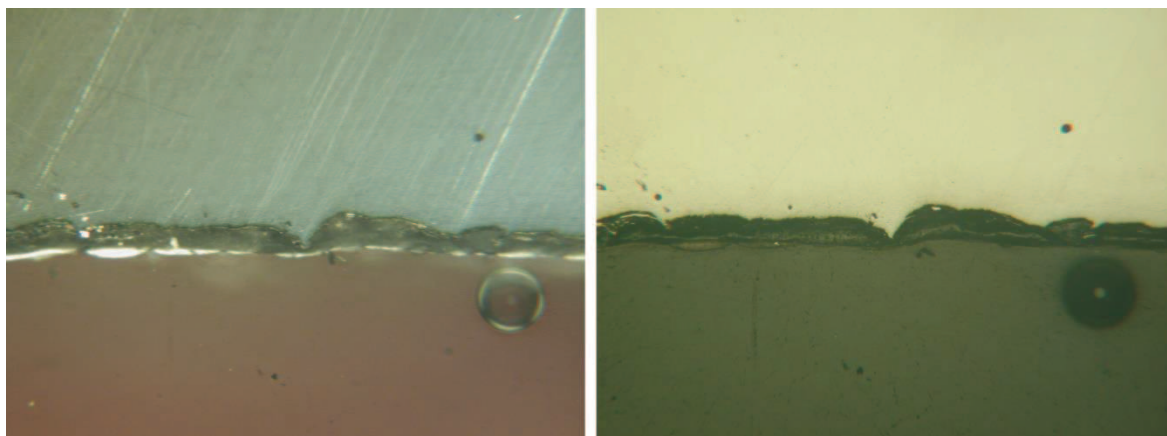
Tab. č. 12 – Vyhodnocení delaminace nátěru

Vzorek	Před vložením do korozní komory	Po 76 hodinách	Po 168 hodinách
3 -	Stupeň 0	Stupeň 2	Stupeň 4
6 +	Stupeň 0	Stupeň 1	Stupeň 2

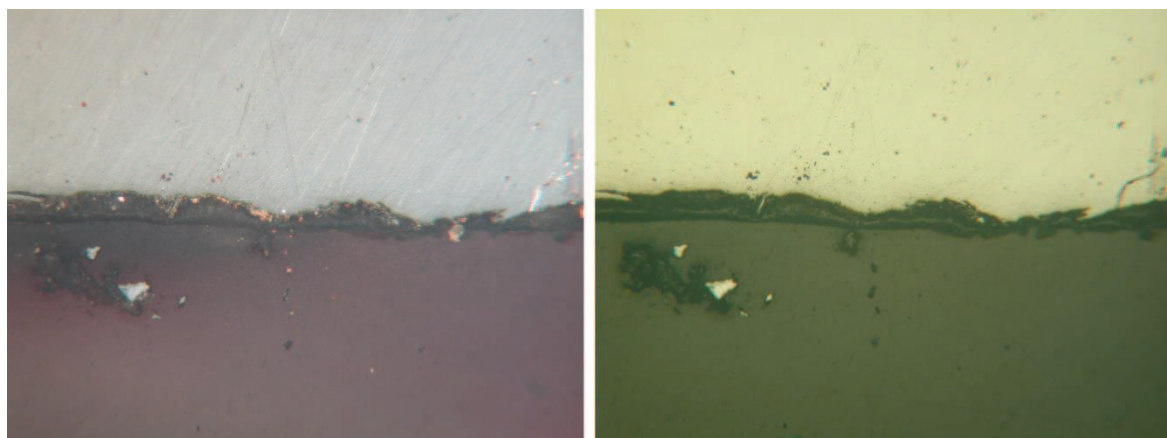
6. Fázové rozhraní

Fázové rozhraní bylo zkoumáno světelným optickým mikroskopem Neophot 2 při zvětšení 100x.

A. Vzorek s podkročenou vrstvou nátěru 1-

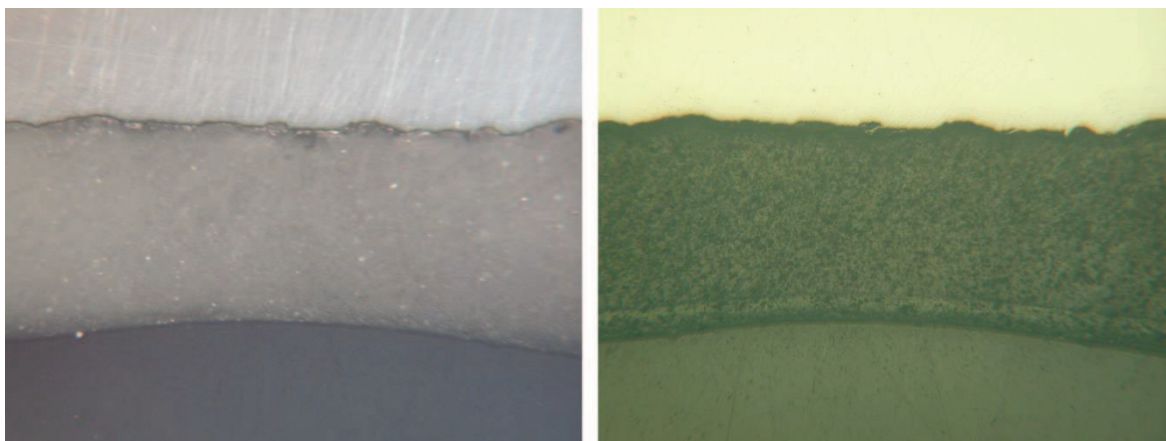


Obr. č. 26 – fázové rozhraní vzorku zvětšeno 100x, řez 1



Obr. č. 27 – fázové rozhraní vzorku zvětšeno 100x, řez 2

B. Vzorek s překročenou vrstvou nátěru 4+



Obr. č. 28 – fázové rozhraní vzorku zvětšeno 100x

Vyhodnocení

Z fázového rozhraní lze vidět, že vzorek s podkročenou vrstvou nátěru špatně zakrývá nerovnosti povrchu a nátěr je nerovnoměrně rozprostřený. U obrázku č. 28 s překročenou vrstvou nátěru jde vidět, jak zakrývá všechny nerovnosti a vytváří hladký povlak.

7. Technicko-ekonomické zhodnocení

Při aplikování nátěrů by se měla nanášet tenká vrstva nátěrové hmoty, podle toho jak je stanoveno objednatelem. Musí být dodržena drsnost povrchu. Nátěrová vrstva musí zakrýt všechny nerovnosti povrchu, aby byl nátěr kvalitní a měl požadované vlastnosti.

Na zkušebním vzorku číslo 1- s podkročenou vrstvou nátěru byla naměřena průměrná drsnost povrchu 63,464 μm . Aplikovaná vrstva nátěru měla tloušťku za sucha jen 34,96 μm . Z toho je zřejmé, že vrstva nátěru není dostatečně silná na to, aby zakryla všechny nerovnosti. Nátěr je tedy nekvalitní a materiál bude rezavět. U vzorku s překročenou vrstvou nátěru 4+ je průměrná tloušťka nátěru za sucha 160,88 μm . Tudíž zakryje všechny nerovnosti povrchu a materiál bude odolávat rzi mnohem lépe.

Přilnavost nátěru je stejná u podkročené i překročené vrstvy nátěru. Z technicko-ekonomického hlediska záleží pouze na tloušťce nátěru. Proto by se měly nátěry nanášet podle stanovené tloušťky tak, aby nátěr zakrýval všechny nerovnosti povrchu. Povrch materiálu by se měl před nanesením nátěrové hmoty nejprve očistit pro větší kvalitu nátěru.

8. Závěr

Práce se zabývá studiem nanopovlaků. Teoretická část je zaměřena na organické povlaky na bázi nátěrových hmot a nanopovlaky.

Experimentální část byla zaměřena na přilnavost transparentního laku. Experiment byl proveden na šesti vzorcích, které byly před nanesením nátěru otryskaný. Čistění vzorků provedeno nebylo. Před nanesením nátěru byla provedena zkouška a vyhodnocení prašnosti povrchu dle normy ČSN ISO 8502-3. Dále byla na vzorku změřena drsnost povrchu pomocí drsnoměru. Při zprůměrování naměřených hodnot bylo $R_a = 9,688 \mu\text{m}$.

Nátěr byl nanesen pomocí štětce, na tři vzorky o tloušťce nátěrové vrstvy podkročené a na další tři o vrstvě překročené oproti standardní tloušťce. Po zaschnutí nátěru byla na všech vzorcích změřena tloušťka jeho suché vrstvy. Naměřené hodnoty pak byly zapsány do tabulky č. 7. a u každého naměřeného vzorku byl vypočten aritmetický průměr. U vzorků s podkročenou vrstvou nátěru se tloušťka suché vrstvy pohybovala v rozmezí hodnot $34,96 - 19,42 \mu\text{m}$, u překročené v rozmezí $160,88 - 104,67 \mu\text{m}$.

Dále byla na vzorcích provedena mřížková zkouška a křížový řez dle normy ČSN EN ISO 16276-2. Touto zkouškou se hodnotí přilnavost nátěrové vrstvy k povrchu podkladu. Vyhodnocení mřížkové zkoušky bylo klasifikováno 0, hrany řezů byly hladké a čtverce mřížky nebyly poškozeny. Stejně tak byla klasifikována stupněm 0 po vyhodnocení i zkouška křížovým řezem. Tudíž nátěr se po zkoušce nikde neodlupoval ani neodpadával.

K hodnocení přilnavosti nátěru byla provedena ještě další zkouška. A to zkouška odtrhová podle normy ČSN EN ISO 16276 – 1. Tato destruktivní zkouška byla provedena na vzorcích 1- a 4+. Na každém vzorku dvakrát. Po odtrhu byla zkouška vyhodnocena podle obrázku č. 16 a tabulky č. 10. Vyhodnocení odtrhů bylo podobné.

Čtyři vzorky byly vloženy do korozní komory se solnou mlhou dle ČSN EN ISO 9227. Touto zkouškou jsme zjišťovali korozní odolnost nátěrů na vzorcích 2- a 5+ a stupeň delaminace u vzorků 3- a 6+ v průběhu vystavení korozní atmosféry. Na vzorcích 2- a 5+ bylo pomocí obrázků z normy ČSN EN ISO 4628 – 2 vyhodnoceno puchýřkování před vložením do korozní komory, po 76 hodinách a po 168 hodinách. Vzorek s podkročenou vrstvou nátěru vykazoval větší množství puchýřkování o větším průměru, než vzorek

s překročenou vrstvou nátěru. Stupeň delaminace se hodnotil podle normy ČSN EN ISO 4628 – 8. Zkouška se vyhodnocovala vizuálně, pomocí obrázkových příkladů. I zde byl stupeň delaminace větší u vzorků s podkročenou vrstvou nátěru.

Světelným optickým mikroskopem bylo zkoumáno fázové rozhraní při zvětšení 100x. Z obrázků č. 26 a 27 je patrné, že podkročená vrstva nátěru je nerovnoměrná, a nepřekrývá všechny nerovnosti povrchu. Kdežto u obrázku č. 28 s překročenou vrstvou nátěru jde zřetelně vidět, jak vrstva laku zakrývá nerovnosti povrchu, a vytváří hladký povlak.

Zkoušky prokázaly, že podkročená a překročená tloušťka nátěru nemá vliv na přilnavost povrchu k podkladovému materiálu. Špatný dopad to má na životnost materiálu, jelikož s podkročenou vrstvou nátěru je méně odolný vůči korozi.

9. Použitá literatura

- [1] MOHYLA, M.: *Koroze a povrchové úpravy kovů ve strojírenství*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2000. 156 s. ISBN 80-7078-953-0.
- [2] MOHYLA, M.: *Technologie povrchových úprav kovů*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2000. 156 s. ISBN 80-7078-953-0.
- [3] Nykl, A.: *Studium transparentních nanopovlaků pro aplikaci na ocelový substrát*. Ostrava 2011, 81 s. Diplomová práce na VŠB-TU Ostrava, Fakulta strojní, katedra mechanické technologie, vedoucí bakalářské práce Podjuklová J.
- [4] DOBROVODSKÁ, L., PODJUKLOVÁ, J., HRABOVSKÁ, K., LANÍK, T., PELIKÁNOVÁ, K., MENŠIKOV, V. V.: *Vývojové trendy v použití ochranných povlaků*. 1. ročník konference s mezinárodní účastí Nanocon 2009. Rožnov pod Radhoštěm, říjen 2009, č. př. 89, ISBN 978-80-87294-12-3.
- [5] *NANObala technologie budoucnosti již dnes*. [online]. [cit.2016-10-1]. Dostupné na WWW. <http://nanobala.cz/nanotechnologie.htm>
- [6] *Nanočástice*. [online]. [cit. 2016-10-1]. Dostupné na WWW. <http://ksicht.natur.cuni.cz/serialy/nanocastice/1>
- [7] KUBÍNEK, R. a STRÁNSKÁ, V. *Úvod do problematiky nanotechnologie* [online]. 2014 [cit.2016-14-1]. Dostupné na WWW. <<http://exfyz.upol.cz/didaktika/oprlz/nanotechnologie.pdf>>.
- [8] ŘEZANKA, Pavel; ZÁRUBA, Kamil; KRÁL, Vladimír: *Potenciál modifikovaných nanočástic v analytické chemii*. [online]. [cit. 2016-16-1]. Dostupné na WWW. http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2007_11_881-885.pdf
- [9] Průša, M.: *Studium současného stavu použití nanonátěrů*. Ostrava 2011, 55 s. Bakalářská práce na VŠB-TU Ostrava, Fakulta strojní, katedra mechanické technologie, vedoucí bakalářské práce Podjuklová J.

- [10] Hozík, J.: *Studium vlivu povrchové úpravy na kvalitu nanopovlaků*. Ostrava 2015, 60 s. Bakalářská práce na VŠB-TU Ostrava, Fakulta strojní, katedra mechanické technologie, vedoucí bakalářské práce Podjuklová J.
- [11] *Nanotechnologie a nanomateriály pro dopravu*. [online]. [cit.2016-17-1]. Dostupné na WWW. <http://projekt150.ha-vel.cz/node/132>
- [12] *Fotokatalytické nátěry mění Ostravsko*. [online]. [cit.2016-20-1]. Dostupné na WWW. <http://www.chemagazin.cz/Vyzkum-a-vyvoj-C804/Fotokatalyticke-natery-meni-Ostravsko-CL411/>
- [13] *Povrchy a jejich úpravy*. [online]. [cit.2016-15-1]. Dostupné na WWW. <http://tzs.kmm.zcu.cz/POUcelk.pdf>
- [14] ČSN ISO 8502 – 3. *Příprava ocelových podkladů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků – zkoušky pro vyhodnocení čistoty povrchu – Část 3: Stanovení povrchu na ocelovém povrchu připraveném pro natírání*. Praha: ČNI, 1999. 12 s.
- [15] ČSN EN ISO 2808. *Nátěrové hmoty – Stanovení tloušťky nátěru*. Praha: ČNI, 2007. 39 s.
- [16] ČSN EN ISO 2409. *Nátěrové hmoty – Mřížková zkouška*. Praha: ČNI, 2007. 16 s.
- [17] ČSN EN ISO 16276 – 2. *Ochrana ocelových konstrukcí proti korozi ochrannými nátěrovými systémy – Hodnocení a kritéria přijetí, adheze/ koheze (odtrhová pevnost) povlaku – Část 2: Mřížová zkouška a křížový řez*. Praha: ČNI, 2008. 16 s.
- [18] ČSN EN ISO 16276 – 1. *Ochrana ocelových konstrukcí proti korozi ochrannými nátěrovými systémy – Hodnocení a kritéria přijetí, adheze/ koheze (odtrhová pevnost) povlaku – Část 1: Odtrhová zkouška*. Praha: ČNI, 2008. 16 s.

Poděkování

Chtěla bych touto cestou poděkovat své vedoucí bakalářské práce paní doc. Ing. Jitce Podjukolové, CSc., za vedení, odborné rady a připomínky při psaní bakalářské práce. A paní Ing. Lence Koldové za pomoc a rady při experimentální části této práce. Dále bych chtěla poděkovat rodině a příteli za podporu a trpělivost.

Zuzana Sojáková